

**Risultati della ricerca dei vuoti sotterranei con il metodo
dei profili di resistività in una zona delle fondazioni
di un Viadotto**

*(Results in a research of burried cavities by resistivity
profiles methods in the foundation's area of a Viaduct)*

E. BRIZZOLARI (*)

Ricevuto il 15 Gennaio 1975

RIASSUNTO. -- Si riferisce sui risultati ottenuti in una ricerca per cavità sotterranee. È stato impiegato un dispositivo a correnti focalizzate tipo Grandinetti. È stato effettuato un confronto pratico in campagna tra il dispositivo Schlumberger e dispositivi tipo Grandinetti. I risultati della interpretazione effettuata confrontando le curve di campagna con gli andamenti teorici esistenti in bibliografia e con quelli calcolati per l'occasione, hanno permesso di individuare alcune cavità sotterranee dimostrando l'efficacia del dispositivo Grandinetti.

SUMMARY. --- We refer on obtained results in an investigation of burried cavities. We employed a «Grandinetti's» electrode array using focalised current. We have compared directly on field Schlumberger array and Grandinetti's electrode array. The results of the interpretation, made with comparison method, have permitted to find some burried cavities demonstrating the efficacy of Grandinetti's electrode array.

PREMESSE

Uno dei metodi geofisici per la ricerca di vuoti sotterranei a piccola profondità è, come noto, il metodo geoelettrico. In particolare

(*) Istituto di Geofisica Mineraria - Università degli Studi, Roma.

vengono impiegati i metodi a resistività e tra essi, generalmente, quello dei profili di resistività.

Nella presente nota vengono riferiti i risultati ottenuti, mediante l'esecuzione di profili di resistività, nella ricerca dei vuoti nella zona di fondazione del Viadotto « L'Antica » della Sora-Frosinone.

L'interesse dalla ricerca consiste nell'aver utilizzato, nell'esecuzione dei profili di resistività, un dispositivo a correnti focalizzate del tipo « Grandinetti » che per le sue caratteristiche geometriche e di campo permette di rilevare anomalie non facilmente individuabili con i dispositivi tradizionali.

OPERAZIONI DI CAMPAGNA ED ELABORAZIONE DEI RISULTATI

Nella zona oggetto dell'indagine esisteva il sospetto della presenza di una coltivazione in sotterraneo di materiali vulcanici con proprietà pozzolaniche.

Si è pensato pertanto di accertare l'eventuale presenza di vuoti, mediante l'esecuzione di profili di resistività paralleli all'asse del viadotto e ad esso ortogonali. Trattandosi peraltro di una indagine preliminare, essa non è stata volta alla determinazione di tutti gli eventuali vuoti della zona ma piuttosto a stabilire la loro esistenza e ad individuarne la posizione nelle immediate vicinanze del futuro asse stradale. Pertanto la zona investigata non risulta molto estesa, nè i profili troppo ravvicinati. Nell'indagine si sono utilizzati il dispositivo Schlumberger e due dispositivi tipo Grandinetti (figura 1) allo scopo di confrontarne i risultati.

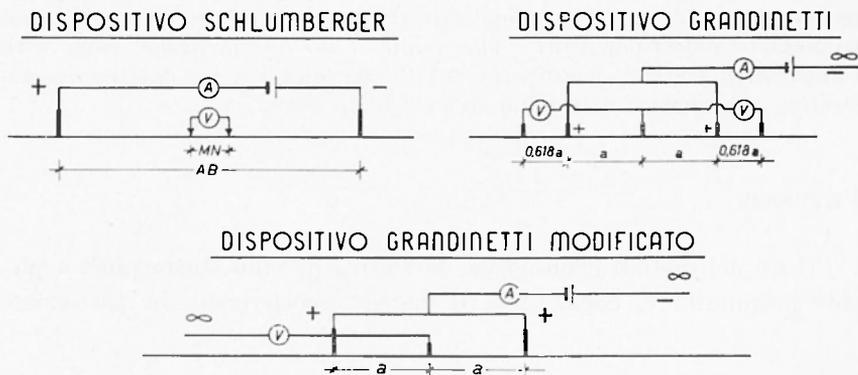


Fig. 1 - Dispositivi elettrodi.

È stato utilizzato il dispositivo Grandinetti tipo «C» (Grandinetti) (3) e un dispositivo di tipo trielettrodo con elettrodo di potenziale di riferimento all'infinito.

La scelta delle distanze elettrodeiche è stata fatta sulla base della supposta profondità degli eventuali vuoti e delle loro dimensioni probabili. Le notizie raccolte sul luogo da persone che avevano visto o avuto notizie indirette sui vuoti esistenti nella zona indicavano vuoti

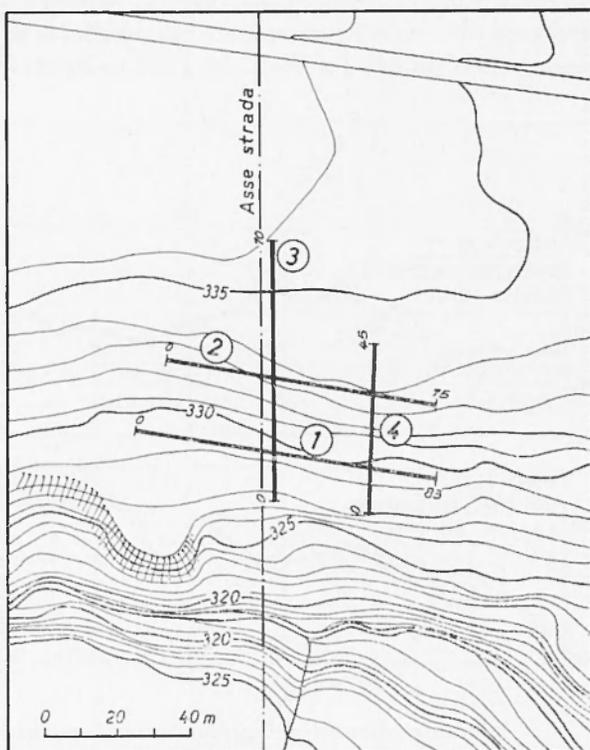


Fig. 2 - Ubicazione dei profili di resistività.

con profondità del tetto variabili tra 1,5 e 5 m e dimensioni delle gallerie non superiori a 2-4 m. In accordo con tali ordini di grandezza sono state fissate distanze elettrodeiche $a = 3$ m per i dispositivi Grandinetti, mentre per quelli Schlumberger si sono adottate distanze $AB = 6$ m e $AB = 10$ m. L'ubicazione dei profili è indicata nella figura 2.

Il profilo 1 è stato ripetuto con diversi dispositivi e diverse distanze elettrodeiche al fine di individuare la migliore distanza elettrodeica e verificare la effettiva utilità dei dispositivi Grandinetti (3).

I risultati ottenuti su tale profilo sono riportati nelle figure 3a e 3b per quanto riguarda i dispositivi Grandinetti e sulla figura 4 per il dispositivo Schlumberger con distanze elettrodeiche $AB = 6$ m e $AB = 10$ m. Dei profili sono stati riportati solo i tratti più significativi.

Nella figura 4 sembra possibile accertare la presenza di anomalie collegabili con eventuali vuoti sotterranei. Per verificare d'altra parte che le variazioni siano connesse a effetti anomali profondi e non a dis-

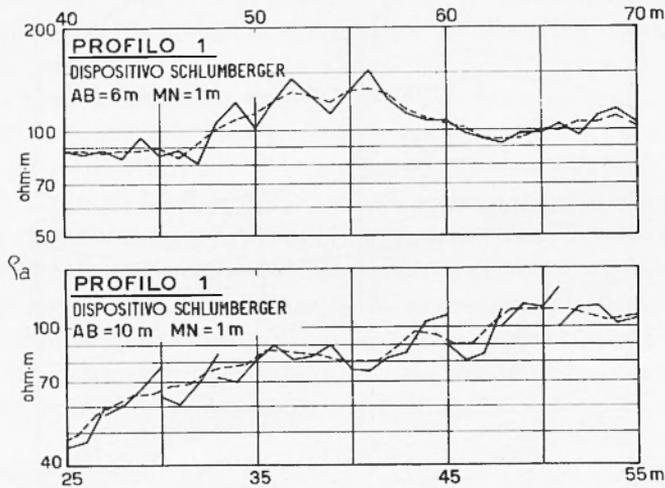


Fig. 4 - Risultati ottenuti sul profilo 1 con dispositivo Schlumberger. A tratteggio le medie di tre valori contigui, riferiti alla progressiva centrale del gruppo.

omogeneità superficiali, è stata calcolata la media di 3 o più valori contigui attribuendone poi il valore alla progressiva centrale del gruppo. Così facendo sembra però accertato che la resistività apparente varia con regolarità probabilmente solo a causa di variazioni laterali della resistività del terreno.

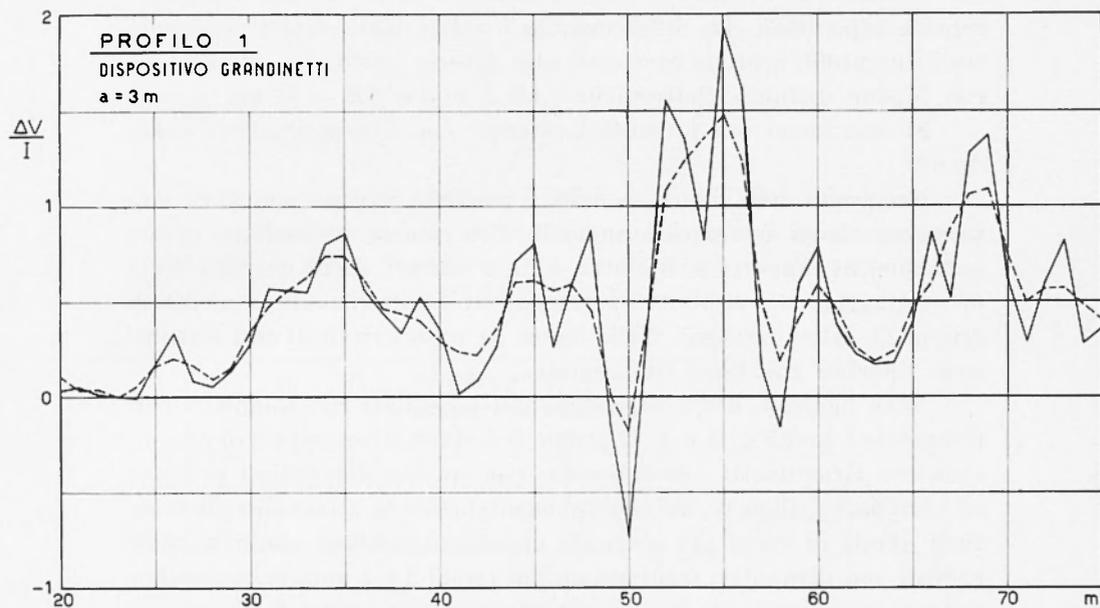


Fig. 3a - Risultati ottenuti sul profilo 1 con un dispositivo Grandinetti. A tratteggio le medie di tre valori contigui, riferiti alla progressiva centrale del gruppo.

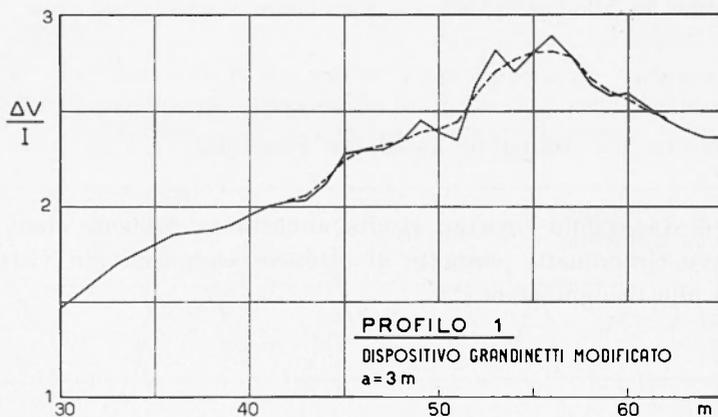


Fig. 3b - Risultati ottenuti sul profilo 1 con un dispositivo Grandinetti modificato. A tratteggio le medie di tre valori contigui, riferiti alla progressiva centrale del gruppo.

Pertanto le variazioni sono presumibilmente dovute a disomogeneità superficiali. La differenza tra i valori di resistività apparente tra i due profili sono da ascriversi alla diversa profondità investigata con le due distanze elettrode ($AB = 6$ m e $AB = 10$ m).

Si esaminano ora i risultati ottenuti con dispositivi tipo Grandinetti.

Nei profili delle figure 3a e 3b, è possibile rilevare con una certa sicurezza alcuni andamenti anomali. Per cercare di esaltare queste anomalie, in rapporto ai disturbi, è stata tentata anche qui una sorta di « filtraggio » dei risultati sostituendo ai valori rilevati la media di gruppi di valori contigui. Nelle figure 3a e 3b i risultati così ottenuti sono riportati con linea tratteggiata.

Nelle figure 5, 6 e 7 sono disegnati i risultati riguardanti rispettivamente i profili 2, 3 e 4. Il profilo 3 è stato altresì ripetuto con dispositivo Grandinetti « modificato »; con questo dispositivo si riesce ad eliminare i disturbi, ma corrispondentemente si attenuano gli eventuali effetti di corpi più profondi ottenendo risultati simili a quelli rilevati con dispositivi tradizionali. Sui profili 3 e 4, inoltre, è possibile riscontrare un aumento dei contributi anomali superficiali, che si manifestano con variazioni notevoli delle differenze di potenziale su brevi spazi; si sono ottenute cioè variazioni con « frequenze » elevate indicanti modeste dimensioni dei corpi causa di tali anomalie, rispetto alle dimensioni del dispositivo. Sono stati anche qui calcolati i valori medi, come sopra indicato, che sembrano eliminare in gran parte le variazioni su breve distanza.

CONFRONTO E CALCOLO DI ANOMALIE TEORICHE

Nei diagrammi riportati risulta abbastanza evidente come il dispositivo Grandinetti permette di ottenere variazioni più vistose rispetto allo Schlumberger (*).

(*) Risultati opposti a quelli da noi rilevati in questo e in casi analoghi sono stati ottenuti da Armando (1).

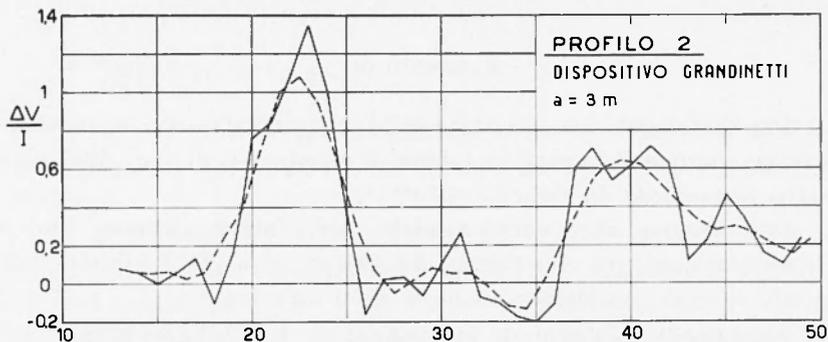


Fig. 5 - Risultati ottenuti sul profilo 2 con dispositivo Grandinetti. A tratteggio le medie di quattro valori contigui, riferiti alla progressiva centrale del gruppo.

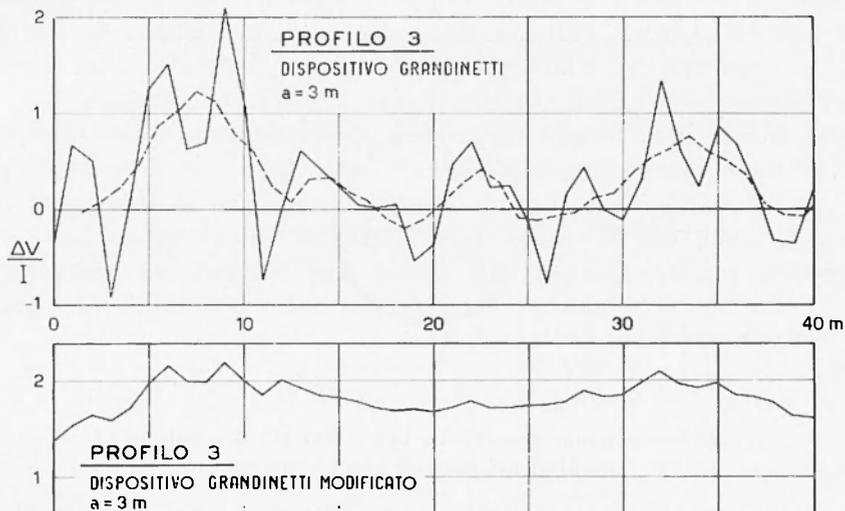


Fig. 6 - Risultati ottenuti sul profilo 3 con dispositivo Grandinetti e Grandinetti modificato. A tratteggio le medie di quattro valori contigui, riferiti alla progressiva centrale del gruppo.

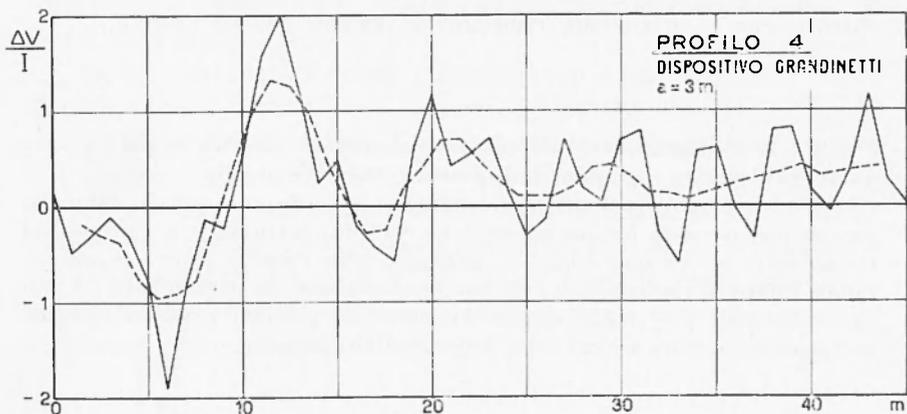


Fig. 7 - Risultati ottenuti sul profilo 4 con dispositivo Grandinetti. A tratteggio le medie di quattro valori contigui, riferiti alla progressiva centrale del gruppo.

Per l'interpretazione, è stato fatto un confronto con le anomalie ricavate sperimentalmente in laboratorio nel caso di un cilindro resistivo orizzontale da Grandinetti (1) (*).

Per ottenere altre curve teoriche per l'interpretazione, oltre le schematizzazioni già considerate da Grandinetti per i cilindri orizzontali, si sono considerate anche le sfere resistive.

Supponiamo dunque di schematizzare i vuoti sotterranei con sfere poste ad una certa profondità (fig. 8).

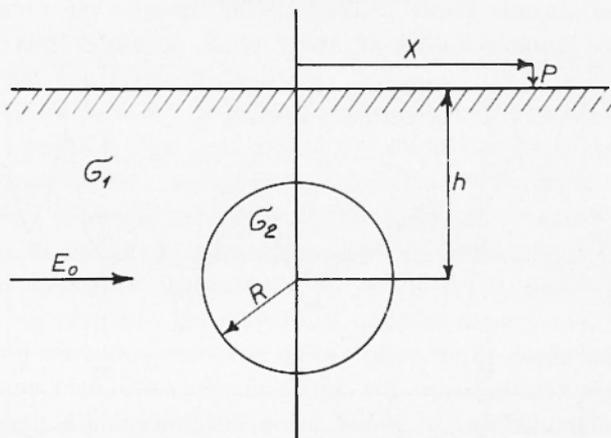


Fig. 8 - Schema geometrico per il calcolo dei potenziali anomali nel caso di sfera resistiva.

In questo caso è possibile la soluzione matematica scegliendo un opportuno sistema di coordinate (vedi Stucchi) (6) ovvero utilizzando la teoria delle immagini elettriche (3). Le soluzioni, ovviamente coincidenti, che si ottengono, risultano di difficile calcolo pratico.

(*) Il medesimo caso del cilindro orizzontale resistivo è stato risolto anche per quanto riguarda il dispositivo tipo Wenner (7).

Un confronto qualitativo dimostra, in accordo con quanto ottenuto da Stucchi, come la focalizzazione delle correnti, ottenuta con i dispositivi Grandinetti, abbia una notevole influenza sulla « penetrazione ». Confrontando infatti i risultati ottenuti sperimentalmente da Grandinetti (1) con quelli calcolati per il dispositivo Wenner (7) si possono notare i risultati nettamente migliori nel caso dei dispositivi Grandinetti.

Sostanziali semplificazioni possono essere ottenute, con modeste approssimazioni nei risultati finali, introducendo alcune condizioni restrittive.

La sfera resistiva posta al di sotto del piano di campagna, genera rispetto ad esso, una sua immagine elettrica in posizione simmetrica. Nel caso semplificato che si considera, il potenziale elettrico è calcolato come somma dei due potenziali generati separatamente dalla sfera e dalla sua immagine. Si trascurano perciò gli effetti mutui tra le due sfere; ciò non comporta errori superiori al 10% sui valori calcolati finché risulta verificato che $h > 1,3 R$, con h profondità del centro della sfera medesima. Perciò si può notare che non si hanno apprezzabili errori fin quando la parte superiore della cavità non si trova nelle immediate vicinanze della superficie topografica.

Si suppone inoltre che il campo elettrico generato possa ritenersi costante nella zona interessata dalla sfera; questa ipotesi risulta abbastanza verificata se la sfera è sufficientemente distante dai punti di immissione di corrente nel terreno.

Con queste ipotesi semplificative il potenziale sul piano $Z = 0$ (superficie del terreno) può essere così espresso (Grant e West pag. 425) (5):

$$V = -2 \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_2 + 2\sigma_1} \right) \frac{E_o R^3 x}{(x^2 + h^2)^{3/2}} \quad [1]$$

$$V = -2 \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_2 + 2\sigma_1} \right) \frac{E_v R^3 h}{(x^2 + h^2)^{3/2}} \quad [2]$$

dove σ_1 e σ_2 sono rispettivamente la conducibilità elettrica del terreno e della sfera di disturbo; E_o e E_v sono rispettivamente la componente orizzontale e verticale del campo elettrico indisturbato calcolato al centro della sfera.

Sulla scorta delle formule [1] e [2], sono stati calcolati i profili anomali teorici ottenibili con dispositivi tipo Grandinetti.

Il calcolo del potenziale è stato fatto per una corrente erogata di 1 ampère e ponendo la resistività del terreno pari a $\rho_1 = 1$. I risultati di tali calcoli sono rappresentati nella figura 9 nel caso di una distanza elettrodica: $a = 1$ e raggio della sfera $R = 0,5 a$, profondità h del corpo variabile tra $0,75a$ e $2a$. Nella figura 10 inoltre sono rappresentate altre due curve con profondità e raggio della sfera costanti e distanza elettrodica variabile.

CONCLUSIONI

Sulla scorta dei profili teorici esistenti nella bibliografia Grandinetti (¹), e di quelli appositamente calcolati precedentemente con la schematizzazione della sfera cava (vedi figure 9 e 10) è stata possibile una interpretazione per confronto con le anomalie rilevate nei profili di campagna. Tale confronto è risultato in alcuni casi alquanto difficile in quanto nei profili di campagna una certa importanza, come visto, assumono le variazioni su breve distanza imputabili certamente a disturbi superficiali e non già a disturbi più profondi.

Cercando pertanto di fare astrazione dagli andamenti locali e considerando le sole anomalie che investono un più ampio tratto del profilo sono state individuate sui profili stessi alcune zone per le quali si poteva presumere l'esistenza di vuoti sotterranei. In conclusione sul profilo 1 sembrano esistere anomalie significative intorno alle progressive 26; 34,5; 50; 54; sul profilo 2 si sono individuate anomalie in corrispondenza delle progressive 23 e 39,5; sul profilo 3 infine in corrispondenza della progressiva 32 sembra esistere un andamento anomalo.

Per accertare la presenza o meno di vuoti sotterranei in corrispondenza delle anomalie sopraindicate, sono stati eseguiti alcuni sondaggi meccanici ad esse in corrispondenza. I risultati delle perforazioni possono essere sintetizzati nella seguente tabella.

TABELLA

Profilo	Progressiva	Vuoto
1	26	no
1	34,5	sì (da 4 a 6,50 m)
1	50	sì (da 1,20 a 3,8 m)
1	54	sì (da 3 a 4,40 m)
2	23	sì (da 3 a 3,8 m)
2	39,5	no
3	32	no

È stata pertanto confermata l'esistenza di vuoti sotterranei in corrispondenza della zona investigata. Tali vuoti sembrano avere altezze medie di circa 2 m e profondità del tetto variabili tra 1,20 m e 4 m al di sotto del piano di campagna.

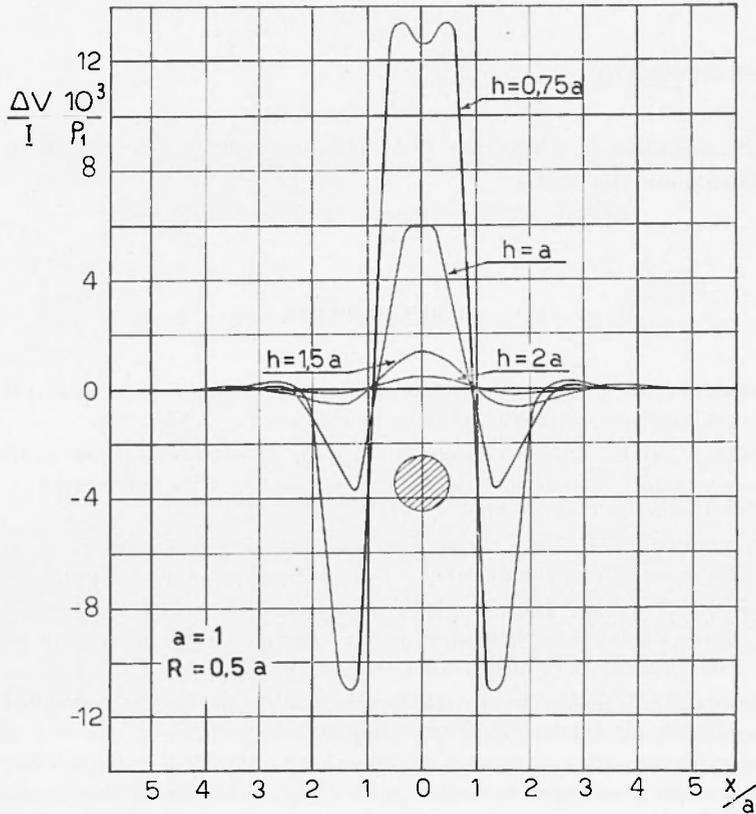


Fig. 9 - Potenziali teorici calcolati nel caso di sfera resistiva con dispositivo Grandinetti. Distanza elettrodica $a = 1$ raggio della sfera, $R = 0,5a$. Profondità variabili tra $0,75a$ e $2a$.

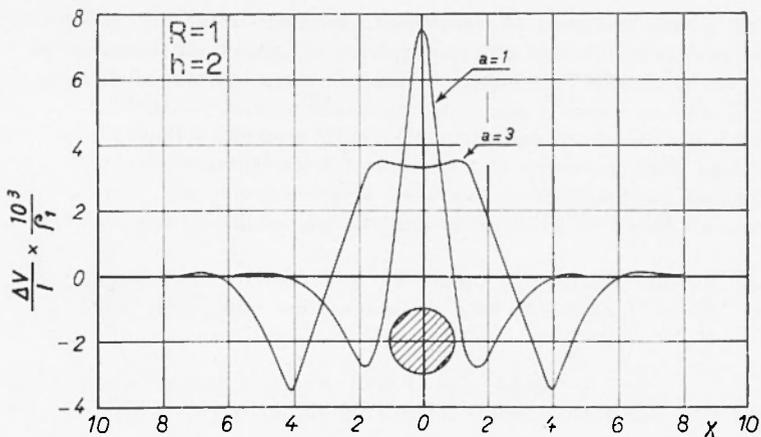


Fig. 10 - Potenziali teorici calcolati nel caso di sfera resistiva con dispositivo Grandinetti nei due casi indicati in figura.

RINGRAZIAMENTO

Si ringrazia la Cassa per il Mezzogiorno per l'autorizzazione alla pubblicazione dei dati.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ARMANDO E., 1973 - *Contributo alla ricerca di cavità sotterranee con metodi elettrici*. « Rivista Italiana di Geofisica », **XXII**, 3-4.
- (2) BRIZZOLARI E., 1971 - *Calcolo di anomalie di potenziale dovute a disturbi superficiali semisferici rilerate con dispositivo tipo Grandinetti*. « Boll. di Geofisica Teor. e Appl. », **XIII**, pp. 51-52.
- (3) GRANDINETTI M., 1967 - *Una nuova disposizione elettrodica per la ricerca di corpi di limitate dimensioni*. « Boll. di Geofisica Teor. e Appl. », **IX**, 35.
- (4) GRANDINETTI M., 1968 - *Risultati di prove su modelli relative ad una nuova disposizione elettrodica per la ricerca di corpi di limitate dimensioni*. « Boll. di Geofisica Teor. e Appl. », **X**, 39.
- (5) GRANT F. S., WEST G. F., 1966 - *Interpretation theory in applied geophysics*. Mc Graw-Hill Book Company. New York.
- (6) STUCCHI M., 1972 - *Ricerca del dispositivo elettrodico ottimale nella prospezione geoelettrica di corpi sepolti*. « Boll. di Geofisica Teor. e Appl. », **XIV**, 53.
- (7) VAN NOSTRAND R., COOK K., 1966 - *Interpretation of resistivity data*. « Geological Survey », Professional Paper 499. United States Government Printing Office, Washington.